

EP 03 / 10411 23 MAR 2005
28. 11. 2003



10 / 529174	
REC'D 23 JAN 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

Aktenzeichen: 103 38 323.9

Anmeldetag: 21. August 2003

Anmelder/Inhaber: Hermann T r o p f , St Leon-Rot/DE

Bezeichnung: Anordnung und Verfahren zum Erkennen
und Greifen von ungeordneten Teilen

Priorität: 23.09.2002 DE 102 44 275.4

IPC: G 06 K, G 03 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
im Auftrag

Sleck

210000



Zusammenfassung:

Zur Typ- und/oder Lageerkennung von ungeordneten oder ungenau positionierten Teilen, wird durch eine spezielle Anordnung mit 3 Kameras und jeweils gegenüberliegenden Beleuchtungen und dadurch, daß Beleuchtung und Kameras einerseits und Teile bzw. Teil andererseits gegeneinander bewegt werden können, mehreres erreicht:

- Sämtliche oben sichtbare Konturen der Teile werden zuverlässig dargestellt, unabhängig von der dreidimensionalen Lage der Teile und unabhängig vom Hintergrund.
- Körperkanten können von Schattenkanten sicher unterschieden werden ohne Modellwissen.
- zum Teachen genügt das Vorzeigen von Teilen in verschiedenen Lagen, ohne Eingabe von Modellwissen.

Die Anordnung und die Verfahren sind insbesondere geeignet, um Schüttgutteile in Behältern oder auf Bändern zuverlässig zu lokalisieren und zu greifen.

Anordnung und Verfahren zum Erkennen und Greifen von ungeordneten Teilen.

Beschreibung:

Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zum Erkennen, Greifen oder Bearbeiten von ungeordneten oder schlecht geordneten oder ungenau positionierten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, vorzugsweise mittels Roboter oder sonstigen Handhabungssystemen.

Für diese Aufgabe gibt es eine ausführliche, meist akademische Literatur, die sich hauptsächlich mit den Bildverarbeitungsmethoden auseinandersetzt. Die eingesetzten Bildauswerteverfahren sind meist konturorientierte und modellbasierte Verfahren. Konturbasierte Verfahren liefern gegenüber flächenbasierten Verfahren i. a. stabilere und genauere Ergebnisse und sind für teilweise verdeckte Werkstücke in der Regel erforderlich. Bei modellbasierten Verfahren wird vorab die Werkstückgeometrie (oder Teile davon) eingegeben, z. B. aus CAD-Daten.

Ein entscheidendes Problem bei der praktischen Realisierung eines solchen Systems besteht darin, daß sich bei den bisher bekannten Kamera- und, (ggf.) Beleuchtungsanordnungen nur ein Teil der Werkstückkonturen ausreichend zuverlässig darstellt.

Nach DE 3545960 wird versucht, unter Verwendung einer einzelnen Kamera, mehrere Bilder mit unterschiedlichen Beleuchtungen aufzunehmen; dadurch wird zwar die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß sich eine Kante in einer dieser Bildaufnahmen darstellt, sichergestellt ist dies jedoch nicht, beispielsweise dann nicht, wenn an der Kante der Hintergrund die gleichen Oberflächeneigenschaften hat wie das obere Werkstück und die gleiche räumliche Orientierung.

Mit bekannten Beleuchtungsanordnungen ergeben sich nur in Sonderfällen zuverlässige Bildmerkmale, beispielsweise bei glänzenden zylindrischen Teilen, bei denen sich eine zuverlässige, hell reflektierende Mantellinie ergibt. Trotz des großen praktischen Bedarfs werden daher bisher kaum Roboter zum dreidimensionalen Greifen von Schüttgut eingesetzt; eine praxistaugliche allgemeingültige Lösung der Aufgabe ist

bisher daran gescheitert; daß sich unter ungünstigen Bedingungen bestimmte Konturen schlecht oder garnicht darstellen. Auswege sind mit großem mechanischem Aufwand verbunden, beispielsweise werden die Teile auf einem transparenten und von unten durchleuchteten Förderband ausgebreitet und, falls sie übereinander liegen, mit einer zusätzlichen steuerbaren Einrichtung von unten angestoßen in der Hoffnung, daß sie danach getrennt liegen und sich damit mit vollständigen Konturen darstellen; dann erst werden sie über ein Bildverarbeitungssystem lokalisiert und durch einen Roboter gegriffen.

Welche Konturen sich zuverlässig darstellen und welche nicht, hängt bei bekannten Kamera- und Beleuchtungsanordnungen von der zufälligen räumlichen Orientierung der Werkstücke ab. Damit wird die Realisierung einer zuverlässigen Bildauswertung äußerst schwierig, insbesondere wenn die Aufgabe eine echte dreidimensionale Lagebestimmung der Werkstücke erfordert (i.a. drei Positionsparameter und drei Orientierungsparameter).

Ein Ausweg ist der Übergang von konturorientierter Verarbeitung zu flächiger 3D-Auswertung mittels strukturiertem Licht. Diese Methode ist jedoch technisch äußerst aufwendig und erfordert "exotische" Beleuchtungskomponenten.

Aufgabe der Erfindung ist die zuverlässige Darstellung aller oder möglichst vieler unverdeckten Konturen eines Werkstücks, unabhängig von der zufälligen räumlichen Orientierung des Werkstücks, unter Verwendung einfacher Standard-Beleuchtungskomponenten, insbesondere ohne strukturiertes Licht.

Eine weitere Aufgabe ist es, ein Lernen durch einfaches Vorzeigen im Einrichtbetrieb und Datenvergleich im Automatikbetrieb zu ermöglichen, ohne vorab im Einrichtbetrieb Modelldaten eingeben zu müssen.

Die Aufgabe wird nach den Ansprüchen 1, 5 und 6 gelöst.

Das Wort "potentiell" ist so zu verstehen, daß die Blickfelder der Kameras so eingerichtet sind, daß sich ein gemeinsames Werkstück mit je einer Kontur in den Blickfeldern befinden KANN (ist dies nicht der Fall, so nimmt z.B. ein Roboter mit Kameras eine neue Aus-

gangsstellung ein, um ein Werkstück zu suchen; bei fest montierten Kameras fährt z.B. ein Transportband weiter, bis sich ein gemeinsames Werkstück in den Bildfeldern befindet).

Fig. 1 zeigt eine Seitenansicht der Kamera- und Beleuchtungsanordnung, mit den Kameras 1, 2, 3, und den ihnen zugeordneten, (symbolisch gezeichneten) Beleuchtungen 11 (für 1), 12 (für 2) und 13 (für 3), sowie dem Schüttgut mit den Werkstücken 4. Die gezeichnete feste Unterlage kann natürlich beispielsweise durch ein Transportband oder einen Behälter ersetzt werden.

Fig. 2 zeigt, um eventuell mögliche Mißverständnisse in Fig. 1 zu vermeiden, die Anordnung senkrecht von unten gesehen.

Fig. 3 zeigt ausschnittsweise eine Kamera und die dazugehörige Beleuchtung und den damit erzeugten Schlag Schatten 5 an der Werkstückkante 6. Die gegenüberliegende Werkstückkante 7 ist aus Sicht der Kamera 1 nur unter günstigen Umständen erkennbar, zum Beispiel bei einer dunklen Unterlage. Die Kanten 6 sind aus Kamera 1 dagegen zuverlässig sichtbar, unabhängig von der Materialhelligkeit und der dreidimensionalen Lage des Werkstücks, bei geeignet angepaßter Größe der Beleuchtung gilt dies auch bei glänzenden Werkstückoberflächen: Die Kanten 6 erzeugen im Bild eine Kontur. Beide Seiten der Kontur sind von der Kamera aus einsehbar, nämlich einerseits die von der gegenüberliegenden Beleuchtung beleuchtete Teilefläche 9 und andererseits die von der gegenüberliegenden Beleuchtung unbeleuchtete Teilefläche 8. Die Werkstückoberfläche 9 reflektiert in jedem Falle hell, da sie sich zumindest näherungsweise im Glanzwinkel befindet (bei matten Oberflächen genügt eine kleine Lichtquelle, um dies zu erreichen, bei glänzenden Oberflächen benötigt man eine größere Lichtquelle). In Richtung Kamera befindet sich ein Schlagschatten 5, in den die Kamera hineinblickt, der

- 4 -

sichtbar ist (ein ggf. auf der gegenüberliegenden Seite des Werkstücks liegender Schlagschatten wäre z.B. nicht sichtbar): Darin erscheint die Fläche 8 immer dunkler als die Fläche 9, unabhängig von der Beschaffenheit des Werkstückmaterials. Damit bildet sich die Werkstückkontur immer zuverlässig im Bild der Kamera ab, auch unabhängig vom Hintergrund, da die Kontur durch zwei Seiten des selben Werkstücks berandet ist.

Das Ende des Schlagschattens (Schattenkante 10) bildet allerdings ebenfalls eine Kontur. Diese hat jedoch im Bild die umgekehrte Polarität: im Kamerabild wechselt an der Werkstückkontur, von oben nach unten gesehen, die Helligkeit von hell nach dunkel, an der Schattenkante von dunkel nach hell. Damit sind bildauswertetechnisch Werkstückkonturen von Schattenkonturen sehr einfach voneinander zu unterscheiden (ein ggf. auftretender Schlagschatten an Werkstückkante 7 hätte zwar invertierte Polarität, doch ist dieser von der Kamera aus nicht zu sehen).

Fig. 4 zeigt, von oben gesehen, eine Werkstückszene und drei Kameras, gleichzeitig die drei getrennten Bilder 21 (für 1), 22 (für 2), 23 (für 3), mit den Schlagschatten als dicke Kante eingezeichnet.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß mit der Anordnung mit mindestens drei Kameras und entsprechend eingerichteten Bildfeldern jeder Konturabschnitt in mindestens einer Kamera sich in der in Fig. 3 dargestellten Situation (Kante 6) befindet und für diese Kamera die Kontur also zuverlässig im Bild erscheint.

Ein nachgeschaltetes Bildauswerteverfahren besitzt nun - von ggf. vorhandenen grundsätzlichen geometrischen Mehrdeutigkeiten abgesehen - alle Informationen, die erforderlich sind, um eine Typerkennung oder Lageerkennung zu realisieren. Alle unverdeckten Konturen der Werkstückoberseite sind in mindestens einer Kamera zuverlässig dargestellt.

Die sehr vorteilhaften Eigenschaften der Konturbildung bleiben auch prinzipiell beibehalten, wenn die in Anspruch 4 oder 5 geschilderte Trennung der Kanäle nicht durchgeführt wird, wenn sich also kein voll ausgeprägter Schlagschatten bildet, sondern nur ein Halbschatten. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die drei den Kameras gegenüberliegenden Beleuchtungen durch ein einzelnes Ringlicht gebildet werden und keine weiteren Massnahmen zur Kanaltrennung vorgenommen werden. Der dann sich ausbildende Halbschatten ist zwar nicht so signifikant wie ein Vollschatten, wie er bei Kanaltrennung erreicht wird, doch ist dies in vielen Fällen ausreichend.

Bei der 3D-Auswertung besteht ein besonderer Vorteil der beschriebenen Anordnung mit drei schräg zueinander stehenden Kameras darin, daß sich, bei kleinen Drehungen des Werkstücks im Raum, mindestens ein Konturbild signifikant verändert (i.a. verändern sich mehrere Konturbilder gleichzeitig), dergestalt, daß eine 3D-Lagebestimmung auch mit guter numerischer Genauigkeit erfolgen kann und ein einfaches Einlernen nur durch Vorzeigen von Werkstücken in verschiedenen Lagen ausreicht, ohne auf Modellinformation zurückgreifen zu müssen.

Besonders vorteilhaft braucht für eine 3D-Lageerkennung die Geometrie der Werkstückkanten nicht bekannt zu sein, wenn die Erkennung durch einen Vergleich mit den im Einrichtungsbetrieb in definierten Relativlagen aufgenommen Bildern oder davon abgeleiteten Daten realisiert wird, denn bildauswertetechnisch sind Werkstückkonturen von den umgebungsabhängigen Schattenkonturen sehr einfach voneinander zu unterscheiden (s.o.), ohne Vorwissen über die Werkstückgeometrie einsetzen zu müssen. Nach den bisher bekannten Ansätzen kann eine sichere Unterscheidung von Werkstück- und Schattenkanten erst im Rahmen des (i.a. modellbasierten) Bildanalyseverfahrens geschehen; hier geschieht diese Unterscheidung vorab und ohne Vorkenntnisse, was wiederum die nachgeschaltete Analyse selbst wesentlich vereinfacht und robuster macht.

Weitere Vorteile ergeben sich daraus, daß Kameras und Beleuchtungen gemeinsam gegen das Werkstück bewegt werden. Z.B. wird bei Befestigung von Kamera und Beleuchtung am Roboter im Einrichtungsbetrieb genau die gleiche relative Bildaufnahme- und Beleuchtungssituation simuliert wie später bei feststehendem Roboter und lageverändertem Teil. Unvorhergesehene Effekte wie z.B. Glanzlichter und

Schattenbildungen treten damit beim Einlernen und beim Erkennen in genau der gleichen Weise auf, was wiederum das Einlernen durch reines Vorzeigen und Vergleichen (s.o.) erst praxisgerecht ermöglicht (diese vorteilhafte Situation ist nicht gegeben, wenn Kameras und Beleuchtungen getrennt bewegt werden). Einfaches Lernen durch Vorzeigen und Erkennen durch Vergleichen mit dem Vorzeigten, ohne Modellinformation, wird also erreicht im Zusammenwirken von

- zuverlässiger und eindeutiger Konturextraktion, alle eine an Körperkanten, aufgrund der gewählten Kamera- und Beleuchtungsanordnung, und
- exakt reproduzierbarer Bildgewinnung durch gemeinsame Relativbewegung von Beleuchtung und Kameras gegen das Werkstück.

(Letzteres ist übrigens auch erfüllt, wenn zusätzlich auch Kameras und Beleuchtungen gegeneinander beweglich sind, bei Bildaufnahme jedoch immer in gleicher oder zumindest näherungsweise gleicher Relativposition zueinander stehen).

Diese Eigenschaft führt auch dazu, daß eine mehrstufige Arbeitsweise einfacher und sicherer realisierbar wird, wobei der Roboter nach einer ersten Bildaufnahme in einer ersten Bewegung zunächst die Relativlage der Kameras zum Werkstück grob angepaßt, und über eine nachgeschaltete Bildaufnahme und Bildauswertung eine Fein-Anpassung für das genaue Zugreifen realisiert wird. Natürlich kann das Ganze auch in mehr als zwei hintereinandergeschalteten Stufen oder kontinuierlich realisiert werden.

Mehrkamera-Anordnungen mit Durchlicht anstelle von Auflicht erzeugen zwar ebenso zuverlässige Konturbilder, sind jedoch nur in einfachen Sonderfällen realisierbar. Dies gilt insbesondere für eine mehrdimensionale Lageerkennung; bei Durchlicht-Anordnungen sind keine beleuchteten Teileflächen zu sehen: für das Erkennen von ungeordnet übereinander liegenden Teilen, wie in Fig. 1 dargestellt, sind Durchlicht-Anordnungen praxisgerecht nicht realisierbar.

Die Figur 2 zeigt eine symmetrische Anordnung mit 3 Kameras. Die hier beschriebene Anordnung und das hier

beschriebene Verfahren betreffen natürlich auch sinngemäß gleichartige Anordnungen, die von einer symmetrischen Geometrie abweichen. Kameras und Lampen müssen sich sowohl untereinander als auch gegeneinander nicht in gleicher Höhe befinden; die Teilung des 360-Grad-Umfangs braucht nicht in gleichen Winkeln zu erfolgen. Die Bildfelder brauchen grundsätzlich den 360-Grad-Umfang nicht vollständig abzudecken (Eindeutigkeit der Auswertung abhängig von der Werkstückgeometrie, z.B. bei Symmetrien oder umgekehrt bei sehr signifikanten lokalen Konturformen).

Die Figuren 1 und 2 zeigen Anordnungen mit von außen nach innen gerichteten Kameras. Die Kameras müssen nicht notwendigerweise (alle) von außen nach innen gerichtet sein (z.B. bei Werkstücken mit inneren Kanten, wie z.B. Kreisringen).

Strukturierte Beleuchtung ist nicht erforderlich; natürlich kann grundsätzlich zusätzlich eine strukturierte Beleuchtung verwendet werden, um z.B. über nachgeschaltete Bildbearbeitungssoftwarefilter eine bessere Trennung gegen Fremdlicht zu erreichen.

Die beschriebene Anordnung kann anstelle von drei Kameras natürlich auch mit sinngemäßen Spiegelanordnungen und weniger Kameras realisiert werden, auch unter Zuhilfenahme von starren oder flexiblen Bildleitern. Die gegenüber den Kameras befindlichen Beleuchtungen können, wie am Beispiel eines Ringlichts bereits erläutert, aus einer einzelnen Beleuchtung bestehen, oder aus einer zufällig gegenüber den Kameras vorhandenen Umgebungsbeleuchtung.

Die Ansprüche beziehen sich neben Robotern natürlich ebenso auf beliebige steuerbare/regelbare Bewegungs- und Handhabungssysteme.

Ansprüche

1. Anordnung zur Typ- und/oder Lageerkennung von ungeordneten oder schlecht geordneten oder einem oder mehreren ungenau positionierten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, die mittels Kameras im Auflicht aufgenommen werden, insbesondere mit dem Ziel des Greifens oder Bearbeitens,
dadurch gekennzeichnet,
 - daß mindestens drei Kameras mit unterschiedlicher Richtung auf die Teile bzw. ein Teil gerichtet sind,
 - daß sich gegenüber jeder dieser Kameras eine Beleuchtung befindet,
 - daß sich im Blickfeld jeder der drei Kameras potentiell mindestens eine Teilekontur eines gemeinsamen Teils befindet, deren beide Seiten von der Kamera aus einsehbar sind, nämlich einerseits eine von der jeweils gegenüberliegenden Beleuchtung beleuchtete Teilefläche und andererseits eine von der jeweils gegenüberliegenden Beleuchtung unbeleuchtete Teilefläche,
 - daß die Beleuchtung und die drei Kameras einerseits und die Teile bzw. das Teil andererseits gegeneinander bewegt werden können.
2. Anordnung nach Anspruch 1, zur Lageerkennung, wobei Kameras und Beleuchtungen an einem Roboter montiert sind und gemeinsam gegen das Teil bzw. die Teile definiert bewegt werden können.
3. Anordnung nach Anspruch 1, zur Lageerkennung, mit nicht an einem Roboter montierten Kameras und Beleuchtungen, wobei im Einrichtungsbetrieb ein Teil in verschiedenen definierten Lagen im Bildfeld der Kameras vorgezeigt, vorzugsweise abgelegt werden kann, besonders bevorzugt durch einen Roboter.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch Schalteinrichtungen und/oder durch Polarisationsfilter und/oder durch Farbfilter und/oder durch Farbkameras, womit die Beleuchtungs-Bildaufnahmekanäle getrennt werden können.

5. Verfahren zum Greifen und/oder Bearbeiten von ungeordneten oder schlecht geordneten oder ungenau positionierten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, mit einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Bildaufnahme der mindestens drei Kameras getrennt über die ihr jeweils gegenüberliegende Beleuchtung geschieht, vorzugsweise

- durch Schalten der Beleuchtungen und zeitlich getrennte Bildaufnahme,
- und/oder durch polarisiertes Licht, und Polarisationsfilter auf Kameraseite,
- und/oder durch Beleuchtung mit unterschiedlichen Spektralbereichen, und Selektion von Spektralbereichen auf Kameraseite, auf Kameraseite vorzugsweise durch Farbkameras oder spektrale Filter.

6. Verfahren zum Greifen und/oder Bearbeiten von ungeordneten oder schlecht geordneten oder ungenau positionierten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, mit einem Roboter und mit einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

gekennzeichnet durch

einen Einrichtbetrieb, in dem Bilder von einem Musterteil aufgenommen werden in verschiedenen Relativlagen von Kameras und Beleuchtungen einerseits und Musterteil andererseits.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, mit einer Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Einrichtbetrieb zum Einteichen der Teile die Kameras und Beleuchtungen gemeinsam bewegt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, mit einer Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß im Einrichtbetrieb zum Einteichen der Teile ein Musterteil im verschiedenen definierten Lagen im Bildfeld der Kameras vorgezeigt wird, vorzugsweise abgelegt wird.

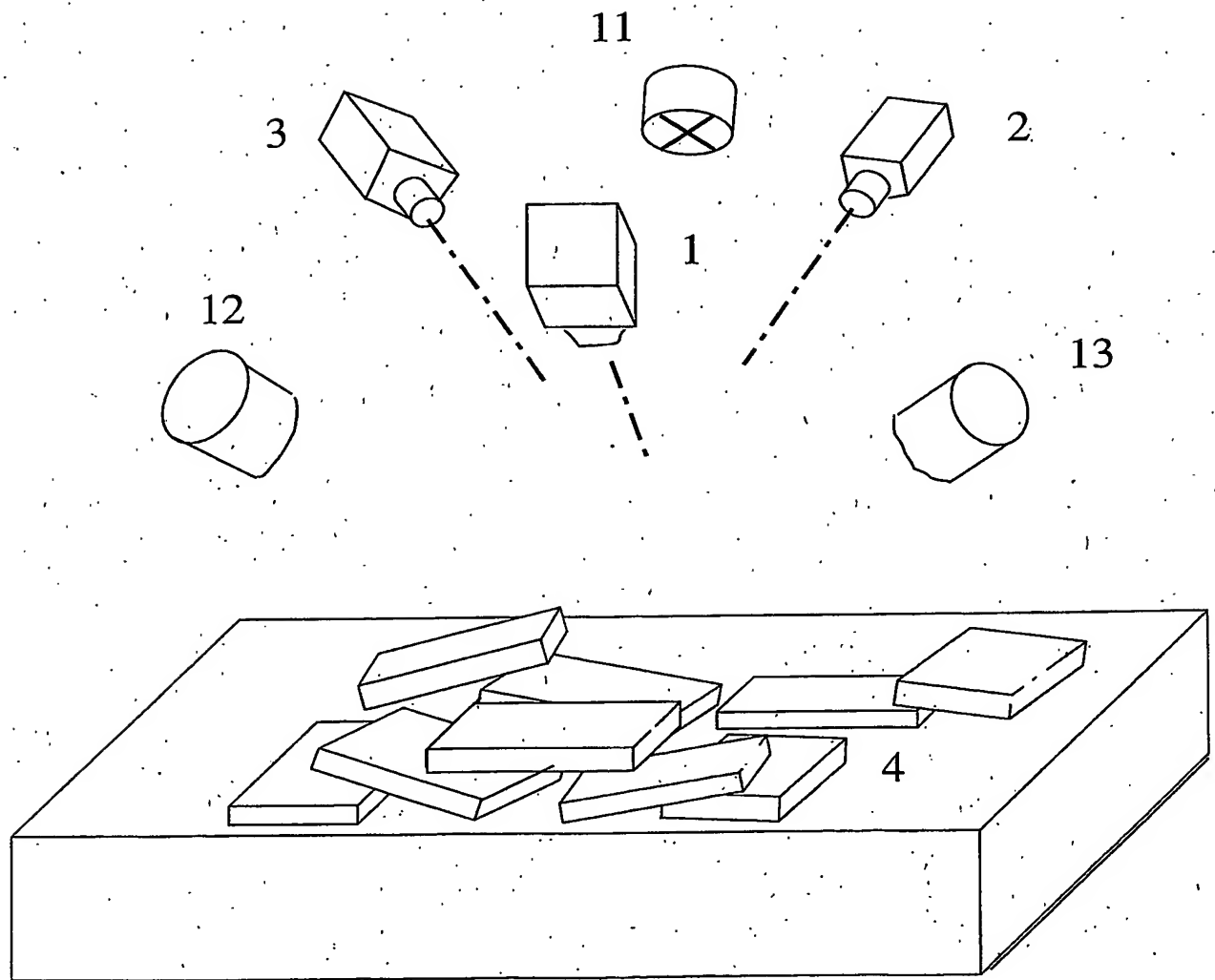


Fig. 1

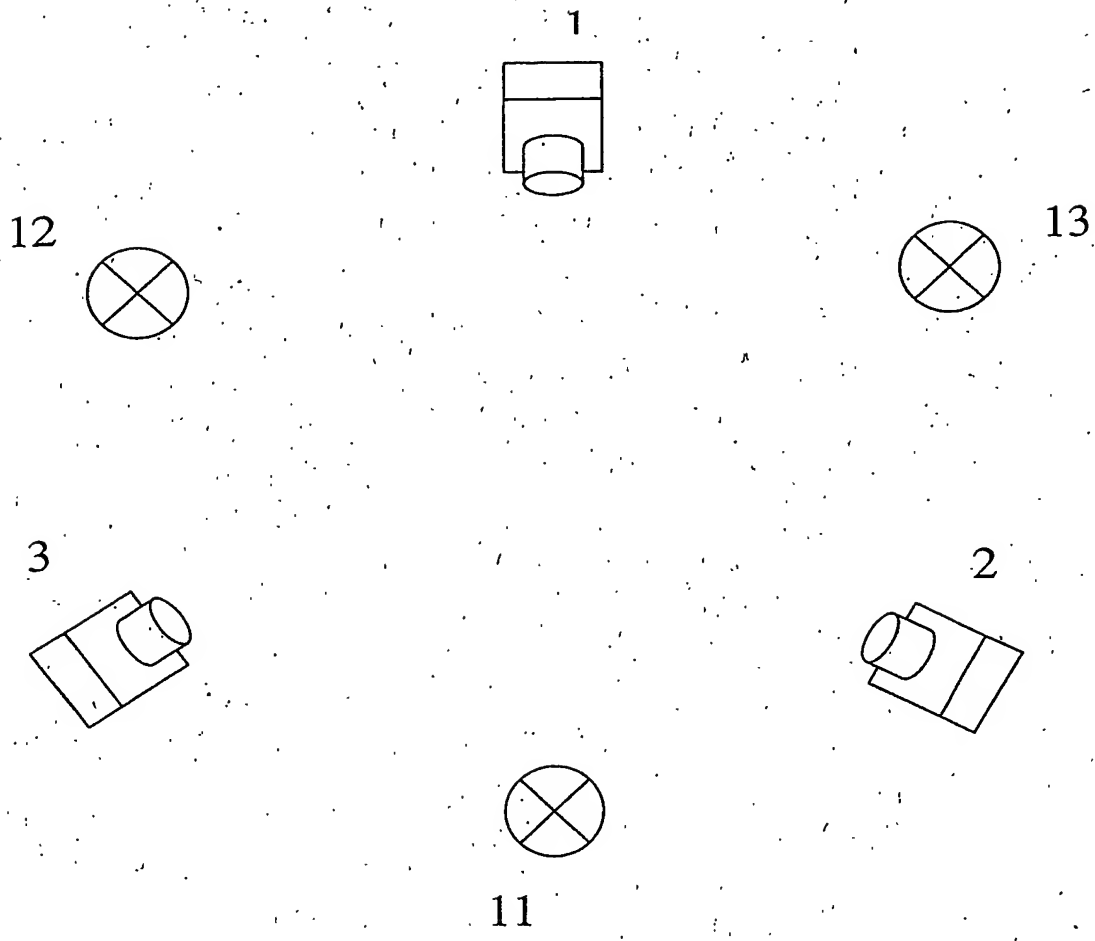


Fig. 2

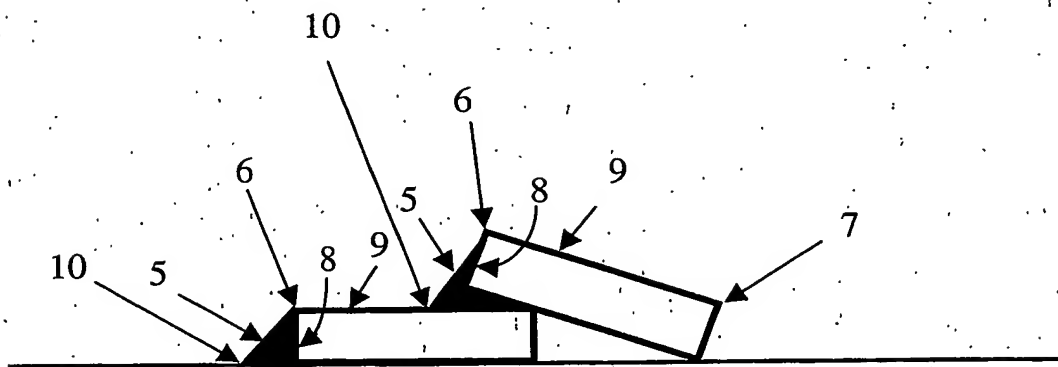
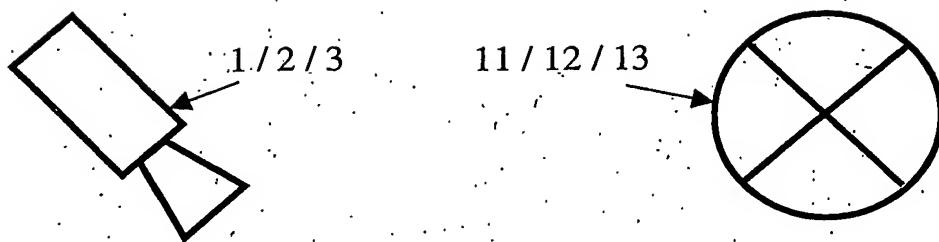
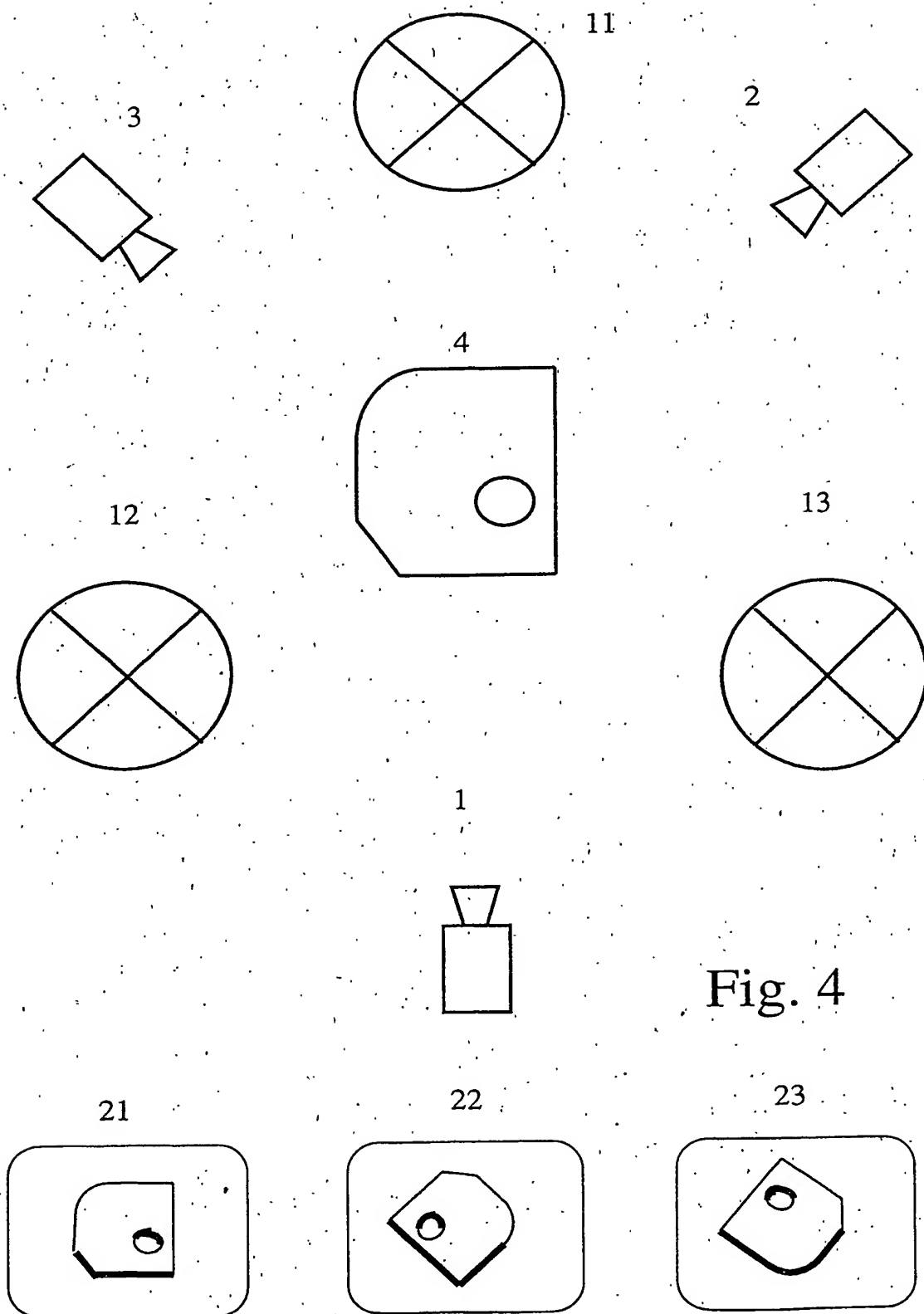


Fig. 3



This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**